干旱区地理
ARID LAND GEOGRAPHY

doi:10.12118/j.issn.1000-6060.2019.06.10

1981—2011 年川南山区地温和气温的变化特征①

王 冰[1]， 李启权[1]， 罗 琳[2]， 王昌全[1]， 杨 娟[1]， 余亮志[3]

（1 四川农业大学资源学院，四川 成都 611130； 2 四川省烟草公司凉山州公司，四川 西昌 615000；
3 中国电建集团成都勘测设计院有限公司，四川 成都 610072）

摘 要： 利用气象站点 1981—2011 年逐日 0 cm 土壤温度和气温数据，运用基本统计、线性回归、累积距平和信噪比分析了川南山区 6 个分区地温和气温的空间分布、变化趋势以及突变特征，分析并对比了地温和气温的关系。结果表明：川南山区年均地、气温变化范围分别在 15.6～20.5 ℃和 12.2～17.2 ℃之间，呈现出北低南高、高山低河谷高的空间分布格局。31 a 来 6 个分区的年均地、气温均有显著上升趋势，但季节变化差异明显，冬季地、气温的增温率高于夏季。从不同区域来看，高山地带（Ⅵ区）的年、季增温趋势最为显著，是其他区域的 2～6 倍，且地、气温在 1990 年左右发生突变；河谷地带（Ⅱ区）的年、季温度变化最小且未发生突变。各区地温和气温呈极显著正相关（$P<0.01$），具有较高的一致性，但也存在非对称增温现象。山地（Ⅲ、Ⅴ、Ⅵ区）的年均、季均地温和河谷（Ⅰ区）的春季地温增温比气温更加强烈，故地气温差出现显著上升趋势，甚至发生突变。

关 键 词： 地温；气温；变化特征；川南山区

目前全球气候系统正经历着显著地变化，影响着大气环流模式和降雨分配，极端天气和旱涝灾害频发[1-3]。地温和气温可以表征气候变化的方向和幅度，是研究气候系统的重要指标。ROHDE 等[4]的研究表明，1753—2011 年间全球地温升高了 0.90 ±0.05 ℃；IPCC 第五次评估报告[5]指出，1983—2012 年的全球气温可能是过去 1 400 a 中最高的 30 a；中国近百年也经历了显著的增温过程，尤其是 20 世纪后期偏暖年份明显增加[6-7]。在全球气候变暖的大背景下，研究不同区域地温和气温的变化特征对于认识气候环境、预防旱涝灾害以及指导生产活动具有重要意义。

地温和气温的变化特征已经受到了广泛关注。基于通量网数据的研究结果[8]表明，1948—2008 年间美国大部分西部地区的地温和气温增温率高于东部地区，且 1982—1994 年的增温率最高；CHEON 等[9]的研究结果表明，1960—2010 年韩国 4 个主要城市的增温幅度高于农村地区。我国大部分地区也有显著增温的趋势，一般来说，北方地区的增温幅度大于南方，同一纬度上，高海拔区域的增温幅度大于较低海拔区域。1961—2000 年西北干旱区 49 个站点的四季增温[10]中，冬季地、气温增温率最高，分别为 0.64 ℃·(10 a)$^{-1}$和 0.44 ℃·(10 a)$^{-1}$；由北向南至桂林地区，1961—2010 年年均地温增温率为 0.23 ℃·(10 a)$^{-1}$，是该区气温增温率的 1.2 倍[11]；1971—2013 年我国西藏高原地区西部和中部的增温幅度明显高于东部[12]。这些研究表明，地温和气温具有时空上的异质性，不同时段、不同区域地温和气温的变化特征不同。

川南山区位于青藏高原东麓，是横断山区的典型地带，对于温度的调节十分敏感，高温干旱事件频发。目前对该区地温和气温变化特征的研究较少，李宗省等[13]开展了横断山区气温的变化趋势研究，但未分析地温的变化特征。本文利用该区气象站 1981—2011 年逐日 0 cm 土壤温度和气温数据，分析了地温和气温的变化趋势、突变特征并对比分析了地温和气温的关系，以期为正确认识该区气候变化特征和指导农、林、牧业生产提供科学依据。

① **收稿日期：** 2019-05-04； **修订日期：** 2019-08-31
基金项目： 四川省教育厅项目（16ZB0048）；四川省烟草公司科技项目（SCYC201402006）
作者简介： 王冰（1993-），女，河南三门峡人，硕士研究生，研究方向为土壤资源遥感与信息. E-mail：wangbing.1993@foxmail.com
通讯作者： 李启权. E-mail：liqq@lreis.ac.cn

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

川南山区位于四川省南部,包括凉山彝族自治州和攀枝花,地理位置为 100°15′ ~ 103°53′E、26°3′~29°27′N 之间。该区位于我国青藏高原东麓,也是横断山脉的典型地带。全区地势西北高、东南低,显示出高山、峡谷、丘陵、平原交错的地貌景观,高山深谷高差悬殊,一般在 1 000 ~2 500 m 之间。地形地貌的明显差异造就了区域的立体气候,从终年积雪的高原高山至全年无冬的低热河谷,气候也从寒带逐渐过渡到亚热带季风气候。受地形气候影响,研究区半农半牧,其中西北部以发展牧业为主,而东南部以农业生产为主。区域北部的年均降水量大于 800 mm,南部的年均降水量则相对较少,6 ~9 月温暖湿润的南亚季风进入该区形成雨季,10 月 ~次年 5 月受较微弱的西风环流控制,降雨骤减。该区土壤高酸低碱、北酸南碱。考虑到区域环境的复杂性,为了更好地了解地温和气温的变化特征,按照地形地貌、土壤类型和主要利用方向将研究区分成 6 个区域(图 1),分区依据如表 1 所示。

1.2 数据来源

数据资料来自攀枝花东区和凉山州的会理、雷波、木里、西昌、盐源、越西、昭觉共 8 个气象站点,取 1981 年 1 月 1 日 ~2011 年 12 月 31 日逐日 0 cm 土壤温度和气温资料,分析了川南山区的年均、季均地温和气温变化情况并对比分析了地温和气温的关系。各分区数据由区内气象站数据求平均得到,年均、季均值由逐日数据求平均得到,各季节数据是按 3 ~5 月为春季,6 ~8 月为夏季,9 ~11 月为秋季,12 月 ~2 月为冬季进行计算,地温和气温的相关性分析用 SPSS 实现。选用 0 cm 土壤温度作为地温数据,主要是考虑 0 cm 层的资料比较完整,受深层热源影响较小且对气候变化比较敏感。

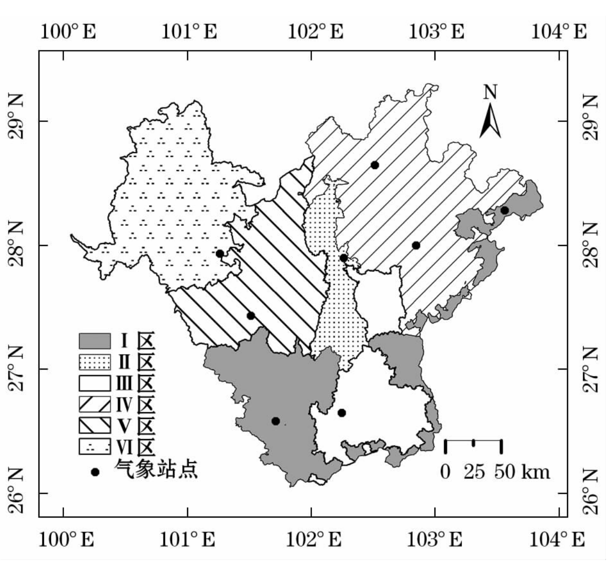


图 1 研究区气象站点分布图及分区图

Fig. 1 Distribution of weather stations and regionalization in study area

表 1 分区依据

Tab. 1 Regionalization basis

分区	地貌	海拔 / m	主要土壤类型	主要利用方向
Ⅰ区	金沙江干热河谷	305 ~1 300	燥红土、红色石灰土	热作区
Ⅱ区	安宁河宽谷	1 300 ~1 800	水稻土、黄红壤、新积土	粮经高产培肥区
Ⅲ区	丘陵—中山	1 800 ~2 500	紫色土	烟粮区
Ⅳ区	山原—中山	1 800 ~2 400	黄红壤、黄棕壤	林牧区
Ⅴ区	中山—高山	2 400 ~2 900	棕红壤、黄棕壤	林果粮经区
Ⅵ区	高山	3 000 ~5 000	棕壤、暗棕壤、草甸土	林牧区

1.3 研究方法

1.3.1 *趋势检验* 年均和季均地温、气温、地气温差的长期变化趋势采用简单线性回归描述,公式为:

$$Y = a + bt \tag{1}$$

式中:Y 为地、气温或地气温差;a 为常数;b 为线性趋势项;b 符号的正负表示观测值趋势的升降;t 为时间,地、气温和温差每 10 a 的线性增温(降温)率用 $b \times 10$ 表示。线性回归法是一种参数方法,本文使用的地温和气温数据已通过 K-S 检验,满足正态分布的要求。回归分析的结果用 F 检验和 T 检验来判断趋势是否显著。

1.3.2 *突变检验* 采用累积距平[14]来诊断地温、气温和地气温差的突变时间,公式为:

$$Y_i = \sum_{i=1}^{t} (x_i - \bar{x}) \tag{2}$$

式中:Y_i 为累积距平;x_i 为地温、气温或地气温差的历年年均、季均值;$\bar{x}$ 为 31 a 平均值。取地温、气温或地气温差累积距平绝对值的最大值所对应的年份作为突变年份。

采用信噪比[15-16]来检验选取的突变年份是否达到气候突变的标准,公式为:

$$S/N = \frac{\left| X_1 - X_2 \right|}{\sigma_1 + \sigma_2} \tag{3}$$

式中:S/N 为信噪比;X_1、X_2 和 σ_1、σ_2 分别为突变年份前后两个时段的均值和标准差;当信噪比数值大于1.0时,两个时段的值在0.01水平存在显著差异,累积距平法所取的突变年份成立,反之,则未出现突变现象。

2 结果与分析

2.1 地温和气温的空间分布

1981—2011年平均地温和气温的空间分布如图2所示,地温和气温在各分区间的变化较为一致,表现出由北向南、由高原山地向河流谷地逐渐增加的趋势。其中Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ区温度相对较高,地温分别为20.3、20.5 ℃和18.6℃,气温分别为17.2、17.2 ℃和15.3 ℃,Ⅳ、Ⅴ、Ⅵ区温度相对最低,地温分别为15.9、15.6 ℃和16.3 ℃,气温分别为12.2、12.4 ℃和13.4 ℃。Ⅲ区纬度较低,Ⅰ区和Ⅱ区位于河谷地带,使这3个区域的热量资源充足。Ⅳ、Ⅴ、Ⅵ区纬度较高且平均海拔在2 000 m以上,使热量条件受到限制。由此可知,纬度和海拔是研究区地、气温变化的重要影响因素。

2.2 各区地温和气温的时间变化

2.2.1 年际变化 由图3a可知,1981—2011年川南山区的地温有增温趋势,增温率在0.24～1.58 ℃·(10 a)$^{-1}$之间,增温趋势达显著水平($P<0.05$),其中高山地带的Ⅵ区地温增温率最大,为1.58 ℃·(10 a)$^{-1}$,河谷地带的Ⅱ 区地温增温率最小,为0.24 ℃·(10 a)$^{-1}$。由图3b可知,川南山区的气温有显著增温趋势($P<0.05$),增温率在0.26～1.12 ℃·(10 a)$^{-1}$之间,其中高山地带的Ⅵ区气温增温率最大,为1.12 ℃·(10 a)$^{-1}$,丘陵—中山地段的Ⅲ区气温增温率最小,为0.26 ℃·(10 a)$^{-1}$。比较图3a和3b可知,除Ⅱ区外,同一分区的地温增温率高于气温增温率,说明地表的增温程度更加剧烈。Ⅱ区地表增温率小于大气,与该分区地质条件和土地利用方式有关,本区地处安宁河断裂带,多岩层层间水溢出,加之种植水稻使土壤储水丰富,改变了土壤比热容和地气之间的热量平衡,减缓了地表升温趋势。虽然各分区增温程度不同,但川南山区地表和大气总体呈升温趋势。

研究区地温和气温的增温趋势既受大区域气候变暖影响,也与该区林业、畜牧业生产等人类活动有关。20世纪以来,全国地温增温率[17]为0.29 ℃·(10 a)$^{-1}$,气温增温率[18]为0.27 ℃·(10 a)$^{-1}$;全球地表增温率[1]为0.15 ℃·(10 a)$^{-1}$,大气增温率[2]为0.12 ℃·(10 a)$^{-1}$,研究区地、气增温趋势是对全国乃至全球范围气候变暖的响应。此外,森林资源减少、牲畜养殖量增加直接或间接地使土壤中的碳素释放到大气中[19-20],增加了该区温室气体的浓度,使地温和气温上升。因此,保护森林生态系统、规范畜牧业管理可以减少研究区温室气体的排放、防止增温的进一步加剧。

2.2.2 季节变化 表2给出了川南山区各季节地温和气温的气候倾向率。各季节增温率不同,且增温趋势的显著性不同,说明地、气温变化有明显的季节差异。在地温季节变化中,Ⅰ区秋季增温最为显著,增温率为1.15 ℃·(10 a)$^{-1}$,Ⅱ、Ⅲ区冬季增温最为显著,分别为0.39 ℃·(10 a)$^{-1}$和0.65 ℃·(10 a)$^{-1}$,Ⅳ、Ⅴ、Ⅵ区春季增温最为显著,分别为

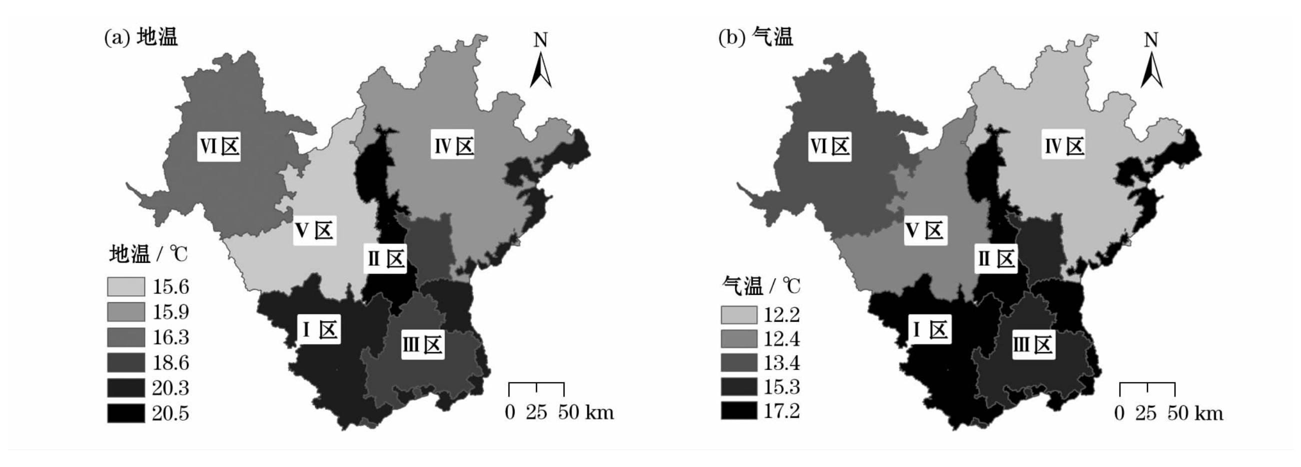
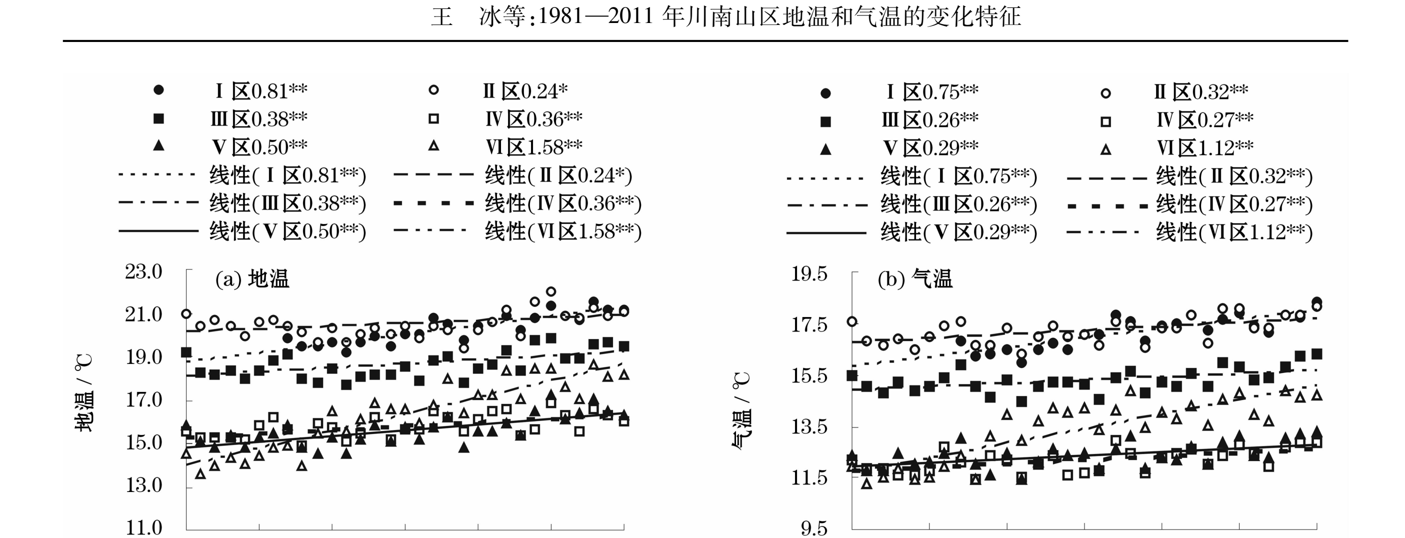


图2 川南山区年均地温和气温的空间分布

Fig. 2 Spatial distribution of mean soil surface temperature and air temperature in the mountainous region of southern Sichuan



注:图例中的数值为该分区气候倾向率;∗表示在 0.05 水平上显著相关;∗∗表示通过 0.01 水平的显著性检

图 3　1981—2011 年川南山区地温和气温的年际变化

Fig. 3　Variation trend of mean annual soil surface temperature and air temperature during 1981—2011 in the mountainous region of southern Sichuan

0.49、0.69 ℃·(10 a)$^{-1}$和 1.80 ℃·(10 a)$^{-1}$,6 个分区夏季地温变化最小。在气温季节变化中,Ⅰ、Ⅱ、Ⅳ区秋季增温最为显著,增温率分别为 0.88、0.31、0.38 ℃·(10 a)$^{-1}$,Ⅲ、Ⅴ、Ⅵ区冬季的增温最为显著,分别为 0.33、0.47、1.48 ℃·(10 a)$^{-1}$,与地温相同,气温也在夏季的变化最小,表明年均地温和气温的增温趋势中春、秋、冬季的贡献最大,夏季的贡献最小。IPCC 第三次报告[21]指出,亚洲冬季的增温率大于夏季;韩翠华等[22]对滇藏高原区气温变化的研究也表明,1981—2010 年冬季的增温率为 0.53 ℃·(10 a)$^{-1}$,高于夏季的 0.27 ℃·(10 a)$^{-1}$。说明研究区地温和气温的季节变化与大区域的气候变化特征基本一致。

不同分区地、气温季节变化也存在差异,高山地带(Ⅵ区)的增温率明显高于海拔相对较低的其他 5 个区域。Ⅵ区内有大量积雪覆盖和冰川冻土,地、气温升高会造成冰川融化、多年冻土解冻,进而使地表反照率降低,吸收的热量增加,且棕壤、暗棕壤占该区总面积的 50% 以上,与其他 5 个区域相比土色较深,容易积累更多的热量,故地、气温上升显著。此外,同一分区不同季节地、气增温程度不同,地温增温幅度最大的季节多为春季,而气温多为冬季。温度的季节变化对作物物候有重要影响,春季升温会使物候提前,而冬季变暖则可能会导致春季物候的延迟[23],所以选择播种时间时要考虑温度季节变化的影响[24]。

表 2　川南山区四季地温和气温的气候倾向率

Tab. 2　Climatic tendency rates of seasonal soil surface temperature and air temperature in the mountainous region of southern Sichuan

指标	季节	Ⅰ区	Ⅱ区	Ⅲ区	Ⅳ区	Ⅴ区	Ⅵ区
地温	春	0.95**	0.32	0.51**	0.49**	0.69**	1.80**
	夏	0.51*	-0.13	0.03	0.10	0.28	1.33**
	秋	1.15**	0.26	0.36	0.40**	0.52**	1.57**
	冬	0.69**	0.39*	0.65**	0.31	0.54**	1.57**
气温	春	0.72**	0.31	0.26*	0.22	0.28*	1.13**
	夏	0.47**	0.15	0.10	0.06	0.03	0.69**
	秋	0.88**	0.31*	0.21	0.38**	0.24*	1.07**
	冬	0.60**	0.35	0.33*	0.21	0.47*	1.48**

注:∗表示在 0.05 水平上显著相关;∗∗表示通过 0.01 水平的显著性检验

2.2.3 突变特征 年均地温的累积距平序列如图4a所示，取6条曲线的最值进行信噪比检验，结果依次为1.41、0.84、0.98、0.77、1.04和1.51，说明Ⅰ、Ⅴ、Ⅵ区地温发生了均值突变，突变年份分别为1997、2002年和1993年。将3个区域突变年份前后分成两个阶段，Ⅰ区两个时段的均值分别为19.7 ℃和20.8 ℃，Ⅴ区两个时段的均值分别为15.3 ℃和16.4 ℃，Ⅵ区两个时段的均值分别为14.8 ℃和17.4 ℃，说明突变后3个区域的地温均值显著上升。年均气温的累积距平序列如图4b所示，信噪比检验结果表明，Ⅰ、Ⅲ、Ⅵ区的气温发生了均值突变，突变年份分别为1997、2004年和1990年。比较突变前后两个时段的均值可以发现，突变后的气温均值显著上升。由此可知，Ⅰ、Ⅵ区的地、气温均发生突变，其中Ⅰ区地、气温在1990s末发生突变，而Ⅵ区地、气温在1990s初发生突变，Ⅱ、Ⅳ区的地、气温均未发生突变，Ⅲ区气温发生突变、Ⅴ区地温发生突变。

四季地、气温的突变年份如表3所示，Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ区地、气温均未发生突变，Ⅰ区地、气温在春、秋季(1997年前后)发生突变，Ⅴ区地温在夏季(2004年)发生突变，Ⅵ区地、气温四季(1990年前后)均发生突变。突变年份前后两个时段的均值有显著差异($P<0.01$)，突变后有上升的趋势，由此可知，各季节温度突变类型为均值突变，突变时间存在差异。

川南山区地、气温突变时间在1990年以后，与横断山区和全球气温突变时间[13,25](1990s)相近。各分区地、气温突变时间不同，这与地、气增温率大小不同有关[11]。利用累积距平和信噪比得到的突变年份，是量变引起质变的结果，故增温率越高，出现温度突变的时间节点越早。此外，气候系统的变化，如厄尔尼诺/拉尼娜现象的发生[26]，也会引起温度突变。

2.3 各区地温和气温的关系分析

2.3.1 相关性 表4给出了川南山区各分区地、气温的相关关系。比较地温和气温的增温趋势可以发现，二者达到统计学意义上的极显著相关($P<0.01$)，相关系数在0.73~0.97之间，说明地气增温趋势具有较高的一致性。地表作为大气的重要下垫面，时刻与气温进行着热量交换，故地气具有相似的变化趋势。但通过前文分析可知，地温和气温的增温趋势和突变状况存在显著差异，说明地气之间存

表3 川南山区四季地温和气温的突变年份

Tab.3 Seasonal abrupt change of soil surface temperature and air temperature in the mountainous region of southern Sichuan

指标	季节	Ⅰ区	Ⅱ区	Ⅲ区	Ⅳ区	Ⅴ区	Ⅵ区
地温	春	1997	–	–	–	–	1990
	夏	–	–	–	–	2004	1991
	秋	1997	–	–	–	–	1993
	冬	–	–	–	–	–	1992
气温	春	1996	–	–	–	–	1990
	夏	–	–	–	–	–	1990
	秋	1997	–	–	–	–	1989
	冬	–	–	–	–	–	1992

注：–为未出现突变现象

表4 各分区地温和气温的相关关系

Tab.4 Correlative relationships between soil surface temperature and air temperature in each regionalization

	Ⅰ区	Ⅱ区	Ⅲ区	Ⅳ区	Ⅴ区	Ⅵ区
年	0.95**	0.83**	0.91**	0.88**	0.87**	0.96**
春	0.92**	0.91**	0.86**	0.91**	0.87**	0.94**
夏	0.87**	0.85**	0.84**	0.73**	0.75**	0.94**
秋	0.95**	0.90**	0.85**	0.91**	0.88**	0.96**
冬	0.96**	0.95**	0.91**	0.96**	0.92**	0.97**

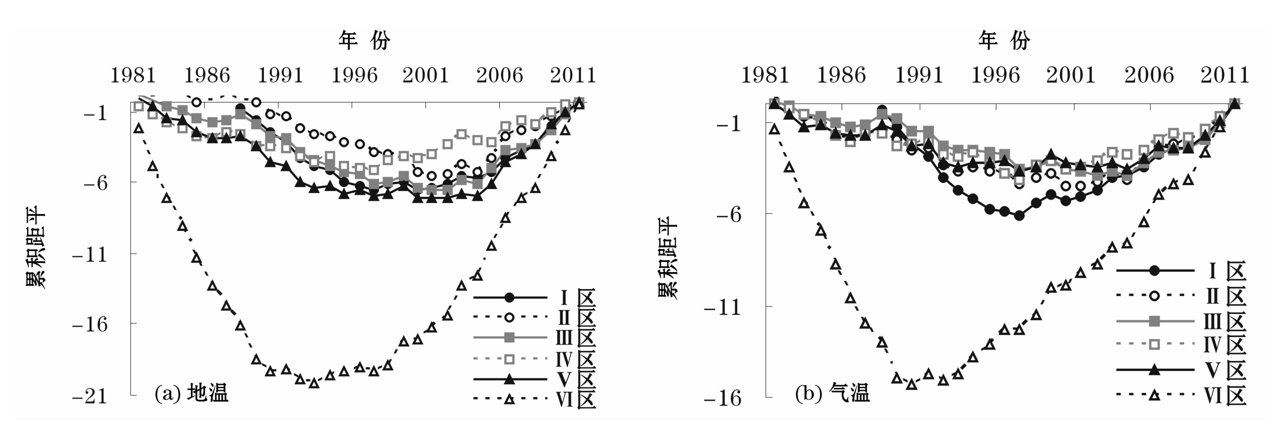


图4 川南山区年际地温和气温的累积距平

Fig.4 Accumulated anomaly of mean annual soil surface temperature and air temperature in the mountainous region of southern Sichuan

在着不对称增温现象。因此,在评估区域气候变化时,不仅要利用气温数据,还应考虑地气温差变化可能带来的影响。

2.3.2　地气温差的变化　1981—2011 年的年均、季均地气温差变化如图 3 所示,各区年际温差在 2.4 ~4.1 ℃之间波动,四季中,春、夏的地气温差值高于秋、冬,这种季节差异主要是受太阳辐射影响[27],春、夏地表获得的辐射较多,到了秋、冬季有效辐射减弱。

对四季地气温差进行趋势分析(表 5)可知,春季地气温差上升最为明显,其次是夏、秋季,冬季地气温差变化最小。各分区中,山区(Ⅲ、Ⅴ、Ⅵ区)年均地气温差增温趋势显著($P<0.01$),增温率分别为 0.13、0.22 ℃·$(10\ a)^{-1}$ 和 0.45 ℃·$(10\ a)^{-1}$。地气温差出现显著上升趋势主要是地温增温率高于气温所致。对地气温差进行突变检验可知,年均地气温差中,高山地带(Ⅵ区)在 1998 年出现突变;季均地气温差中,Ⅰ区春季出现突变,Ⅲ区冬季出现突变,Ⅴ区春、夏出现突变,Ⅵ区春、夏、秋出现突变,突变时间在 19 世纪末 ~20 世纪初。其他条件不变的情况下,地气温差升高则地面感热通量增加,进而影响大气环流模式、季风变化和夏季降雨状况[28-30],故地气温差升高的区域可能会有异常气候发生。

3　结 论

(1) 川南山区地温和气温的空间分布受纬度和海拔影响,表现为北低南高,高山低河谷高;在年际尺度上,各分区的地、气温显著上升,尤以高山区(Ⅵ区)的地、气增温最为强烈,是其他区域的 2 ~6 倍;在季节尺度上,温度的变化存在差异,冬季地、气温增温率高于夏季。Ⅱ ~ Ⅵ区地、气温升高则光温生产潜力提高,有利于粮食增产,而金沙江干热河谷地带(Ⅰ区)本身属于热作区,若温度继续上升,则未来面临干旱的风险。

(2) 地、气温突变时间在 20 世纪 90 年代后,类型为均值突变。年均地温突变发生在河谷区(Ⅰ区)、中山—高山过渡带(Ⅴ区)和高山区(Ⅵ区),气温突变发生在河谷区(Ⅰ、Ⅲ区)和高山区(Ⅵ区)。季均地温突变发生在Ⅰ区的春、秋季,Ⅴ区的夏季和Ⅵ区的春、夏、秋、冬季,气温突变发生在Ⅰ区的春、秋季和Ⅵ区的春、夏、秋、冬季。

(3) 地温和气温之间虽有较高的一致性($P<0.01$),但也存在非对称性,具体表现为各分区的地温增温率高于气温增温率,且山地(Ⅲ、Ⅴ、Ⅵ区)的年均、季均地气温差和河谷(Ⅰ区)的春季地气温差呈显著上升趋势。因此,在研究气候变化时,不能仅考虑地温或气温变化,还应考虑地气温差变化带来的影响。

(4) 本文着重分析了川南山区地、气温变化特征,对温度变化的原因只进行了初步分析,在今后的研究中,还需要结合辅助数据定量分析影响研究区温度变化的关键因子,以期为预测旱涝灾害和建立气候模型提供参考。

表 5　川南山区地气温差的变化

Tab. 5　Variation of the difference between soil surface temperature and air temperature ($Ts-Ta$) in the mountainous region of southern Sichuan

		Ⅰ区	Ⅱ区	Ⅲ区	Ⅳ区	Ⅴ区	Ⅵ区
年	变幅 / ℃	2.9 ~3.7	2.8 ~4.1	2.9 ~4.0	3.2 ~4.1	2.7 ~4.1	2.4 ~4.0
	气候倾向率 / ℃·$(10\ a)^{-1}$	0.08	-0.08	0.13*	0.06	0.22**	0.45**
	突变年份	-	-	-	-	-	1998
春	变幅 / ℃	3.4 ~4.6	3.7 ~5.4	3.6 ~6.0	3.5 ~5.2	3.0 ~5.4	2.5 ~5.6
	气候倾向率/℃·$(10\ a)^{-1}$	0.23*	0.00	0.25*	0.26**	0.40**	0.68**
	突变年份	2004	-	-	-	2001	2000
夏	变幅 / ℃	3.2 ~5.0	2.6 ~4.8	2.6 ~4.6	3.0 ~4.6	3.5 ~5.5	2.9 ~5.6
	气候倾向率 / ℃·$(10\ a)^{-1}$	0.04	-0.16	-0.06	0.04	0.25*	0.64**
	突变年份	-	-	-	-	2004	1998
秋	变幅 / ℃	2.2 ~4.1	1.9 ~4.1	2.2 ~4.5	2.4 ~3.8	2.5 ~4.6	2.2 ~4.1
	气候倾向率 / ℃·$(10\ a)^{-1}$	0.28*	-0.05	0.16	0.03	0.27**	0.49**
	突变年份	-	-	-	-	-	1997
冬	变幅 / ℃	1.4 ~2.2	1.1 ~2.6	1.4 ~2.8	2.7 ~3.6	0.5 ~2.3	0.4 ~1.8
	气候倾向率 / ℃·$(10\ a)^{-1}$	0.09	0.04	0.31**	0.09	0.07	0.10
	突变年份	-	-	1995	-	-	-

参考文献(References)

[1] YOU Q L,KANG S C,AGUILAR E,et al. Changes in daily climate extremes in China and their connection to the large scale atmospheric circulation during 1961—2003[J]. Climate Dynamics,2011,36(11):2399－2417.

[2] 孔祥伟,于乐江,刘新伟. 西南地区冬季旱涝特征及其与北极涛动关系[J]. 干旱区地理,2012,35(6):875－882.[KONG Xiangwei,YU Lejiang,LIU Xinwei. Spatial and temporal characteristics of winter drought/flood in southwest China and correlation with Arctic oscillation[J]. Arid Land Geography,2012,35(6):875－882.]

[3] 赵俊芳,郭建平,张艳红,等. 气候变化对农业影响研究综述[J]. 中国农业气象,2010,31(2):200－205.[ZHAO Junfang,GUO Jianping,ZHANG Yanhong,et al. Advances in research of impacts of climate change on agriculture[J]. Chinese Journal of Agrometeorology,2010,31(2):200－205.]

[4] ROHDE R,MULLER R A,JACOBSEN R,et al. A new estimate of the average earth surface land temperature spanning 1753 to 2011[J]. Geoinformatics and Geostatistics:An Overview,2012,1(1):1－7.

[5] IPCC. Climate change 2013:The physical science basis[M]. Cambridge:Cambridge University Press,2013:1－8.

[6] WANG F,GE Q S. Estimation of urbanization bias in observed surface temperature change in China from 1980 to 2009 using satellite land-use data[J]. Chinese Science Bulletin,2012,57(14):1708－1715.

[7] ZHOU T J,YU R C. Twentieth-century surface air temperature over China and the globe simulated by coupled climate models[J]. Journal of Climate,2006,19(22):5843－5858.

[8] HAO G C,ZHUANG Q L,PAN J J,et al. Soil thermal dynamics of terrestrial ecosystems of the conterminous United States from 1948 to 2008:An analysis with a process-based soil physical model and AmeriFlux data[J]. Climatic Change,2014,126(1－2):135－150.

[9] CHEON J Y,HAM B S,LEE J Y,et al. Soil temperatures in four metropolitan cities of Korea from 1960 to 2010:Implications for climate change and urban heat[J]. Environmental Earth Sciences,2014,71(12):5215－5230.

[10] 符睿,韦志刚,文军,等. 中国西北干旱区地—气温差变化成因分析[J]. 中国沙漠,2010,30(6):1442－1449.[FU Rui,WEI Zhigang,WEN Jun,et al. Causes of variation of earth-air temperature difference in arid regions of northwest China[J]. Journal of Desert Research,2010,30(6):1442－1449.]

[11] 陈超,周广胜. 1961—2010年桂林气温和地温的变化特征[J]. 生态学报,2013,33(7):2043－2053.[CHEN Chao,ZHOU Ghuangsheng. Analysis on variation characteristics of air temperature and ground temperature in Guilin from 1961 to 2010[J]. Acta Ecologica Sinica,2013,33(7):2043－2053.]

[12] 周刊社,罗骕翾,杜军,等. 西藏高原地温对气温变化的响应[J]. 中国农业气象,2015,36(2):129－138.[ZHOU Kanshe,LUO Suxuan,DU Jun,et al. Response of soil temperature to air temperature change in Tibet Plateau[J]. Chinese Journal of Agrometeorology,2015,36(2):129－138.]

[13] 李宗省,何元庆,辛惠娟,等. 我国横断山区1960—2008年气温和降水时空变化特征[J]. 地理学报,2010,65(5):563－579.[LI Zongxing,HE Yuanqing,XIN Huijuan,et al. Spatio-temporal variations of temperature and precipitation in Mts. Hengduan region during 1960—2008[J]. Acta Geographica Sinica,2010,65(5):563－579.]

[14] 张应华,宋献方. 水文气象序列趋势分析与变异诊断的方法及其对比[J]. 干旱区地理,2015,38(4):652－665.[ZHANG Yinghua,SONG Xianfang. Techniques of abrupt change detection and trends analysis in hydroclimatic time-series[J]. Arid Land Geography,2015,38(4):652－665.]

[15] YAMAMOTO R,IWASHIMA T,SANGA N K. An analysis of climatic jump[J]. Journal of the Meteorological Society of Japan,1986,64(2):273－281.

[16] ZHAO F F,XU Z X,HUANG J X. Long-term trend and abrupt change for major climate variables in the upper Yellow River Basin[J]. Acta Meteorologica Sinica,2007,21(2):204－214.

[17] 乔丽,吴林荣,张高健. 中国近50 a地表温度时空变化特征分析[J]. 水土保持通报,2015,35(5):323－326.[QIAO Li,WU Linrong,ZHANG Gaojian. Temporal and spatial changes of land surface temperature in China in recent 50 years[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation,2015,35(5):323－326.]

[18] 虞海燕,刘树华,赵娜,等. 1951—2009年中国不同区域气温和降水量变化特征[J]. 气象与环境学报,2011,27(4):1－11.[YU Haiyan,LIU Shuhua,ZHAO Na,et al. Characteristics of air temperature and precipitation in different regions of China from 1951 to 2009[J]. Journal of Meteorology and Environment,2011,27(4):1－11.]

[19] HANSEN M C,POTAPOY P V,MOORE R,et al. High-resolution global maps of 21st-century forest cover change[J]. Science,2013,342(6160):850－853.

[20] HERRERO M,HAVLIK P,VALIN H,NOTENBAERT A,et al. Biomass use,production,feed efficiencies,and greenhouse gas emissions from global livestock systems[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences,2013,110(52):20888－20893.

[21] IPCC. Climate change 2001:The scientific basis[M]. Cambridge:Cambridge University Press,2001:13－14.

[22] 韩翠华,郝志新,郑景云. 1951—2010年中国气温变化分区及其区域特征[J]. 地理科学进展,2013,32(6):887－896.[HAN Cuihua,HAO Zhixin,ZHENG Jingyun. Regionalization of temperature changes in China and characteristics of temperature in different regions during 1951—2010[J]. Progress in Geography,2013,32(6):887－896.]

[23] YU H Y,LUEDELING E,XU J C. Winter and spring warming result in delayed spring phenology on the Tibetan Plateau[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences,2010,107(51):22151－22156.

[24] SACKS W J,DERYNG D,FOLEY J A,et al. Crop planting dates:An analysis of global patterns[J]. Global Ecology and Biogeography,2010,19(5):607－620.

[25] QUIRK T. Did the global temperature trend change at the end of the 1990s[J]? Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences,2012,48(4):339－344.

[26] GAO J,RISI C,MASSON-DELMOTTE V,et al. Southern Tibetan Plateau ice core $\delta^{18}O$ reflects abrupt shifts in atmospheric circulation in the late 1970s[J]. Climate Dynamics,2016,46(12):291－302.

[27] YAO J M,ZHAO L,GU L L,et al. The surface energy budget in the permafrost region of the Tibetan Plateau[J]. Atmospheric Research,2011,102(4):394－407.

[28] DUAN A M, WU G X, LIU Y M, et al. Weather and climate effects of the Tibetan Plateau [J]. Advances in Atmospheric Sciences, 2012, 29(5): 978－992.
[29] BOOS W R, KUANG Z M. Dominant control of the south Asian monsoon by orographic insulation versus plateau heating [J]. Nature, 2010, 463(7278): 218－222.
[30] DUAN A M, WANG M R, LEI Y H, et al. Trends in summer rainfall over China associated with the Tibetan Plateau sensible heat source during 1980—2008 [J]. Journal of Climate, 2013, 26(1): 261－275.

Change characteristics of soil surface temperature and air temperature in the mountainous region of southern Sichuan from 1981 to 2011

WANG Bing[1], LI Qi-quan[1], LUO Lin[2], WANG Chang-quan[1], YANG Juan[1], YU Liang-zhi[3]
(1 *College of Resources, Sichuan Agriculture University, Chengdu* 611130, *Sichuan, China*;
2 *Liangshan Branch of Sichuan Provincial Tobacco Company, Xichang* 615000, *Sichuan, China*;
3 *PowerChina Chengdu Engineering Corporation Limited, Chengdu* 610072, *Sichuan, China*)

Abstract: Soil surface temperature and air temperature are essential indicators of climate change, and had received growing attention. In this paper, variations of soil surface temperature and air temperature in the mountainous region of southern Sichuan from 1981 to 2011 was analyzed. The study area is lying on the east edge of Qinghai-Tibet Plateau, China, and is very sensitive to climate change. In order to better understand the temperature change status of this region, the study area was divided into six areas (labelled from Ⅰ to Ⅵ area) based on landform, soil type and main land use, and the meteorological data including daily soil temperature at 0 cm and daily air temperature were used to analyze the regionalization variation of temperature. The meteorological data were obtained from eight local weather stations, including eastern district of Panzhihua and Huili County, Leibo County, Muli County, Xichang City, Yanyuan County, Yuexi County as well as Zhaojue County of Liangshan Yi Autonomous Prefecture, Sichuan Province. The spatial distribution of mean soil surface temperature and air temperature were analyzed by basic stats, the trends of the temperatures were revealed by simple linear regression, the abrupt changes were determined by cumulative sum anomaly detection method and signal-to-noise ratio, and finally, the relationship between soil surface temperature and air temperature was discussed. The results suggest that the mean annual soil surface temperature and air temperature in the mountainous region of southern Sichuan ranged from 15.6 to 20.5 ℃ and 12.2 to 17.2 ℃ respectively, presenting a spatial distribution pattern with high values in the southern part and valleys, and low value in the northern part and high mountains. Both soil surface temperature and air temperature had significant increasing trends on the annual and seasonal scale, whereas the increasing rate was higher in winter than that in summer which meant the seasonal variations were obviously different. In six types of areas, the type Ⅵ area which lies in high mountainous region had the highest warming trend which is 2－6 times of other areas, and the abrupt changes of soil surface temperature and air temperature occurred around 1990; the type Ⅱ area which is located at the Anning River valley had the lowest temperature change and there was not any abrupt change. The soil surface temperature and air temperature showed extremely significant positive correlation ($P<0.01$), indicating that they have high consistency. However, the asymmetric warming phenomenon also existed between two temperature indexes. In the whole year and four seasons in the mountainous regions (type Ⅲ, type Ⅴ and type Ⅵ areas) and in the spring of the Jinsha River valley (type Ⅰ area), soil surface temperature warming showed a much stronger trend than the air temperature warming, thus difference between soil surface temperature and air temperature (*Ts-Ta*) presented significant increasing trend and even had abrupt change occurred. The results would be helpful to provide reference for predicting drought and flood disasters and building climate models. Different from the previous study which only analyzed soil surface temperature or air temperature, this paper compared two temperature indexes, and found that the asymmetric warming phenomenon between them was significant ($P<0.05$), suggested that not only the variations of soil surface temperature and air temperature should be noted, but also the impact of changes in the relationship of *Ts-Ta* on the climate system needs to be concerned.

Key words: soil surface temperature; air temperature; variation characteristics; the mountainous region of southern Sichuan